FLUXO DIURNO DE RADIAÇÃO DE ONDA LONGA RECEBIDA EM UM TRAJETO URBANO ARBORIZADO

Antonio Jaschke MACHADO[1]
Tarik Rezende de AZEVEDO[2]

RESUMO

É realizada a mensuração do fluxo diurno da radiação de onda longa descendente, na banda do infravermelho (~ 4,0 a 50,0 μm), com a utilização de um pirgeômetro da Eppley Inc.

O experimento (MACHADO e AZEVEDO, 2004) teve lugar em um percurso no interior do campus CUASO (Cidade Universitária Armando Salles de Oliveira) da Universidade de São Paulo, no início da tarde do dia 23 de setembro de 2003, utilizando-se freqüência de amostragem de 0,5Hz e sob uma situação de céu aproximadamente claro (pouca nebulosidade, cerca de ¼ de cirrus esparsos).

Neste trabalho é apresentado e analisado um trajeto retilíneo com 1,2 km de extensão, e cobertura vegetal variável.

Nota-se, que no setor intermediário do trajeto, onde há adensamento da cobertura vegetal, ocorre uma elevação de aproximadamente 18 % do fluxo de radiação de onda longa recebida (cerca de 60 Wm^{-2}), em relação aos segmentos com maior visibilidade do céu.

Para áreas arborizadas, estima-se que o fluxo total de energia radiante que atinge a superfície é cerca de metade (50 %) daquela que atingiria a superfície de uma área não arborizada.

INTRODUÇÃO

A radiação eletromagnética, da faixa do infravermelho (comprimento de onda aproximadamente entre 4,0 e 50,0 μm) emitida tanto pela atmosfera como pelas diversas superfícies, é um importante termo do balanço de energia em áreas urbanas e pode constituir-se em um bom indicador do grau de urbanização experimentado por uma determinada região. Isto decorre do fato de a atmosfera, bem como as diversas superfícies urbanas serem compostas por uma grande variedade de constituintes e materiais, que acarretam uma maior variabilidade espacial da temperatura, possivelmente melhor avaliada se considerado o grau de emissão térmica dos diferentes elementos da paisagem. Aliado a esta perspectiva, há o fato de não haver ainda na RMSP (Região Metropolitana de São Paulo) uma rede radiométrica que possibilite a análise adequada de tal elemento, sobretudo devido aos elevados custos dos equipamentos necessários a tais mensurações. Surge assim a necessidade de desenvolvimento de novas técnicas e procedimentos metodológicos que viabilizem estas análises.

A atmosfera da cidade de São Paulo (situada a $23^0$33' S e $46^0$43' O, aproximadamente a 770 m acima do nível do mar), assim como a atmosfera de outros grandes centros urbanos caracteriza-se fundamentalmente por um enorme acúmulo de constituintes variáveis, além dos gases permanentes, na sua porção inferior próxima à superfície, onde se desenvolve a camada limite. Essa particularidade da camada limite atmosférica urbana, implica em uma

[1] Universidade de São Paulo, FFLCH, Aluno de Doutorado, jaschke.machado@ig.com.br
[2] Universidade de São Paulo, FFLCH, Professor Doutor, xtarikx@usp.br

caracterização específica do clima para o ambiente urbano. A camada limite urbana é uma porção da atmosfera situada acima de uma área urbana, e cujas características climáticas são modificadas pela presença de uma cidade na superfície (OKE, 1978). As unidades climáticas urbanas, da cidade de São Paulo, segundo Tarifa e Armani (2001) são: unidade climática urbana central, unidade climática urbana da periferia, unidade climática do urbano fragmentado e unidade climática não-urbana.

Sob o ponto de vista da radiação solar, de onda curta, Oliveira et al. (2002) apresentam uma estimativa local da radiação solar global, cerca de 16 % inferior a uma outra estimativa, de escala regional, obtida através de sensoriamento remoto. Essa variação, na quantidade de energia solar que atinge a superfície, em diferentes escalas, pode ser fruto da própria natureza urbana da atmosfera local que se manifesta através das observações pontuais do fenômeno. Com relação à radiação térmica de ondas longas o mesmo também pode ser verificado. Voogt e Oke (1997) estimam a temperatura radiativa da superfície em áreas urbanas, através de observações no solo e aéreas, com pirgeômetros, considerando a área total da superfície que está emitindo radiação térmica. Notam, por estas observações, que as estimativas que consideram a superfície completa, geralmente diferem de estimativas por sensores remotos (como satélites, por exemplo), por levarem em consideração medidas em diferentes direções, que não apenas a direção do nadir[3]. Aliás, a determinação da temperatura radiativa das superfícies, que estão emitindo, pode ser útil também na obtenção de um termo importante para o balanço de energia em áreas urbanas, que é a difusão de calor sensível na superfície (VOOGT e GRIMMOND, 2000), além de fornecer indícios sobre a emissividade e a admitância térmica da superfície observada.

CARACTERIZAÇÃO DO ESPAÇO URBANO

O ambiente natural caracteriza-se por uma situação em que prevalece o estado estacionário, ou seja, o equilíbrio entre a quantidade de energia fornecida ao sistema e a paisagem resultante dos processos alimentados por esta fonte de energia. Com a inserção do fator humano na paisagem, surge um novo agente geomorfológico, que rompe com este estado, acelerando os processos (NIR, 1983). Este desequilíbrio gerado pelo homem resulta em dois aspectos preponderantes, a aceleração dos processos erosivos e a criação de um novo ambiente, denominado urbano, acompanhado de uma nova superfície, sobrejacente àquela original de gênesis natural. Esta nova área de estudo que submerge, denomina-se geomorfologia antrópica, e está vinculada a fatores demográficos, sociais e econômicos, cujas conseqüências acabam por interferir na evolução do meio físico, de maneira, muitas vezes, dramática para as populações dos grandes centros urbanos.

A RMSP fica localizada na abrangência do domínio morfoclimático e fitogeográfico, denominado Mares de Morros. Este domínio é caracterizado originalmente por regiões serranas, tropicais úmidas e originalmente extensivamente florestadas (AB´SABER, 1967). Atualmente, e sobretudo no decorrer do séc. XX, apresentou grande expansão territorial e modificação da superfície, principalmente no que se refere ao desflorestamento. Sua porção sudoeste expande-se sob um domínio de transição, que conduz ao domínio dos planaltos subtropicais com araucárias.

Essa região abrange uma área de cerca de 3.000 km², e segundo a classificação escalar apresentada por Fairbridge (1968), apresenta uma superfície de análise correspondente a magnitudes entre 4ª e 5ª ordem, nas quais destacam-se como base de estudos geomorfológicos, as unidades estruturais de caráter regional restrito, a individualidade tectônica e o relevo simples.

[3] *Nadir*, termo árabe que significa oposto. Corresponde ao oposto de zênite (*samt*, caminho), que por sua vez, equivale ao ponto culminante da abóboda celestial, posicionado justamente acima da cabeça de um observador na superfície (Bozcko, 1986).

Segundo Kretzschmar (1994), na RMSP 95 % da eletricidade é gerada por usinas hidroelétricas, e as principais fontes de emissão de gases e partículas, para a atmosfera, de origem antropogênica, são devidas às indústrias e sobretudo ao tráfego de veículos. No início dos anos 90 eram cerca de 800 indústrias emitindo 44 kt/ano de material particulado e cerca de 3,5 milhões de veículos emitindo 21 kt/ano, totalizando, ambas as fontes, 65 kt por ano de material particulado.

Eventos de poluição do ar, tais como altas concentrações de material particulado, podem causar reduções de 10 a 12 % dos valores horários e diários da radiação solar global na superfície (OLIVEIRA *et* al., 2002). No entanto, não é observado aumento nos valores horários e diários da componente da radiação solar difusa na superfície, como seria esperado, indicando que a absorção de radiação solar pela atmosfera urbana poluída pode ter um importante efeito em São Paulo. Principalmente na emissão de radiação de ondas longas (como o infravermelho próximo) pelos poluentes atmosféricos, que deverá ser tanto maior, quanto maior for a absorção de radiação solar (ondas curtas, sobretudo nas faixas do ultravioleta e visível) por estes elementos constituintes.

Justamente em contrapartida a esse menor aquecimento observado para a superfície urbana devido a uma menor incidência de radiação solar, Oke (1981), medindo a temperatura nos *canyons* urbanos de Vancouver, verificou um atraso no resfriamento, presumivelmente devido à diminuição da radiação líquida de onda longa (diferença de emissão térmica entre a cobertura superficial e a atmosfera) na superfície do *canyon*, justificada não pela poluição atmosférica, mas sim pela obstrução horizontal. Conforme a razão altura / largura do *canyon* aumenta, uma grande parte do céu frio (céu claro) é substituída por edificações, com paredes aquecidas em relação ao ar. Isto representaria um importante efeito da geometria urbana no ambiente.

COMPORTAMENTO TÉRMICO E ENERGÉTICO

Voogt e Oke (1997) efetuam medidas completas; não convencionais, sem a utilização das tradicionais estações fixas; da temperatura das superfícies urbanas para a cidade de Vancouver, e apresentam seis definições distintas de superfícies urbanas que podem ser analisadas e estudadas em diferentes situações, com diferentes equipamentos ou procedimentos. Os tipos de superfícies são:

completa: todas as superfícies são avaliadas (estudos da camada limite atmosférica),

nível do solo (plano zero): apenas as superfícies do solo, externas (incluindo ruas, calçamentos ou áreas cobertas por vegetação) e internas (pisos das edificações) são avaliadas,

nível do topo dos elementos superficiais (caixa preta): apenas as superfícies que constituem os topos ou áreas superiores das edificações são avaliadas,

visão de “olho de pássaro”: os topos das edificações, ruas e topo da vegetação são avaliados,

superfície (nível da pele): superfície aérea, distante cerca de 1,5 m acima do solo (nível aproximado onde são instalados os instrumentos meteorológicos denominados de superfície),

deslocamento do plano zero: como no item **b**, porém, não sobre o solo, mas sim distante uma determinada altura a partir deste,

Outra forma alternativa de mensuração do campo térmico em área urbana é apresentada por Azevedo e Tarifa (2002), que utilizam minirregistradores para fazerem medições de temperatura e umidade na cidade de São Paulo, com a finalidade de testar um sistema de medições de mais baixo custo, fácil mobilidade e maior autonomia em trabalhos de campo.

O sistema mostrou-se bem adaptável às condições ambientais, e isolado, em termos de incidência de radiação e ventos, fornecendo valores de temperatura do ar, comparáveis aos obtidos em estações meteorológicas convencionais. As maiores discrepâncias, valores de temperatura em torno de 1°C ocorreram em alguns dias, entre o fim da tarde e início do período noturno, após um período diurno com ao menos 8 horas de insolação ininterrupta.

Hu et al. (1999) testam aproximações, a fim de agregar informações diversas sobre fluxos e parâmetros de superfícies heterogêneas, para que possam ser aplicados em modelos numéricos de diversas escalas, utilizando como base a equação do balanço de energia na superfície:

$$K + L = H + E + G \quad (1).$$

Onde H é o fluxo turbulento de calor sensível, E é o fluxo turbulento de calor latente, G é o fluxo de calor sensível difuso através do solo, K é o fluxo líquido de radiação solar e L é o fluxo líquido de radiação de onda longa. Este estudo mostra-se de grande interesse para análise em áreas urbanas, devido à grande heterogeneidade das superfícies. Neste caso, as variáveis são discretizadas através de uma área relativa, composta pelos diferentes materiais que constituem a superfície urbana. Ou seja, o fluxo de calor no solo seria obtido por:

$$G_D = \Sigma\, a_i G_i \quad (2).$$

Onde o índice i representa um determinado tipo de cobertura do solo, que ocupa uma certa área a_i no domínio (D) urbano que está sendo modelado.

Grimmond e Oke (1995) analisam medidas de fluxo de energia, durante o verão, tomadas nos subúrbios de quatro cidades norte-americanas, Chicago, Los Angeles, Sacramento e Tucson, com diferentes ocupações de solo. Eles analisam duas situações distintas; em um primeiro momento apenas para condições de céu claro, e em um segundo momento para todas as condições de céu observadas. Nota-se algumas diferenças interessantes. Por exemplo, os valores mais elevados de fluxo de calor sensível em Tucson, característicos de uma superfície mais seca, desértica ou pavimentada. Ou então, o maior total de radiação líquida, na superfície, para Chicago, na situação de céu claro, inclusive com maiores valores instantâneos no período da tarde. Isto, devido em parte ao fato de haver chovido em Chicago, nos dias anteriores às observações, ocorrendo assim uma diminuição considerável da concentração de material particulado na atmosfera e aumento substancial da radiação solar que atinge a superfície. Ao contrário das outras cidades, como Los Angeles, onde havia maior concentração de material particulado, favorecida sobretudo à situação de estabilidade atmosférica que prevaleceu nos dias em que foram tomadas observações, e também à localização geográfica no vale de São Gabriel.

MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento e implementação de equipamentos e instrumental para mensuração de parâmetros ambientais, como os minirregistradores utilizados por Azevedo e Tarifa (2002), é sempre interessante pois pode criar alternativas de mais baixo custo e de mais fácil aplicação, inclusive em aferições no meio urbano, como neste estudo da emissão térmica.

A metodologia utilizada baseia-se em Voogt e Oke (1997) e Sakamoto (1994) e consiste na escolha de trajetórias, na CUASO, analisadas quanto à ocupação do solo.

Foi idealizado um percurso, composto de transectos, conforme Sakamoto (1994), através dos quais a radiação atmosférica de onda longa é observada (MACHADO e AZEVEDO, 2004). Destaque-se aqui a diferente hipótese investigada neste trabalho, segundo a qual a influência sobre o conforto humano em áreas urbanas é de menor impacto devido à variação da temperatura do ar, mas de grande relevância ao se considerar o campo espacial da radiação de onda longa (infravermelho), através de observações da emissão térmica.

A forma de observação inclui a utilização de um móvel, assim como em Voogt e Oke (1997), com o pirgeômetro Eppley, modelo PIR, sendo fixado sobre a cobertura do veículo, um Ford, modelo KA. O equipamento utilizado inclui, além do veículo e do pirgeômetro, um *notebook* (computador), um *datalogger* Campbell, modelo 21X e uma bateria de 12 V. O arranjo experimental está ilustrado em Machado e Azevedo (2004). São utilizados cabos de conexão entre o *datalogger* e o *notebook*, e também entre o *datalogger* e o pirgeômetro, situado na parte superior externa do veículo (MACHADO e AZEVEDO, 2004).

Dentre as dificuldades encontradas neste tipo de medição, a principal corresponde ao nivelamento do sensor de onda longa (pirgeômetro) no plano horizontal. Esta dificuldade surge por dois motivos, pelo movimento da suspensão do veículo ao percorrer a trajetória, e pela própria conformação do terreno por onde se segue a trajetória, que não possui um relevo totalmente plano. No entanto, estas dificuldades parecem não influenciar drasticamente as medições de radiação atmosférica, como poderiam no caso de estar-se observando radiação solar, assumindo-se a hipótese de a radiação de onda longa emitida pela atmosfera e superfícies, tais como edificações, pontes, vegetação, antenas, postes e elevações do relevo, possuir natureza isotrópica. Aliás, tais obstáculos constituem justamente elementos que poderiam ser verificados, inicialmente em uma escala reduzida, e posteriormente em uma escala maior que inclua a RMSP.

Com relação às informações coletadas em campo, deve-se destacar que a amostragem dos dados efetuada com a utilização do *datalogger*, ocorre a uma freqüência de 10 Hz, enquanto o armazenamento no banco de dados do computador, para este experimento, ocorre a uma freqüência de 0,5 Hz, realizando-se assim médias de 2 segundos sobre um conjunto de 20 valores amostrados. Apesar da inércia instrumental do sensor (pirgeômetro) ser da ordem de 2 segundos, opta-se por uma amostragem com intervalo de tempo 20 vezes inferior, na tentativa de investigar possíveis flutuações, causadas por obstáculos, e tendo-se em vista a velocidade de deslocamento do veículo, da ordem de 40 km/h, aproximadamente, para o percurso apresentado aqui. O experimento (MACHADO e AZEVEDO, 2004) ocorreu no início do período vespertino de 23 de setembro de 2003 sob condições de tempo estável, com céu praticamente claro, considerando-se a ocorrência de cirrus esparsos ocupando uma área de aproximadamente ¼ da abóboda celeste.

Os dados coletados foram todos geo referenciados, a partir da interpolação temporal das coordenadas geográficas de um conjunto de localizações amostradas. O geo referenciamento foi realizado com a utilização de um GPS (*Geographic Position System*) manual da GARMIN.

O cálculo final da radiação atmosférica de onda longa, para a faixa espectral de comprimento de onda situada entre 04 e 50 μm, leva em conta o procedimento sugerido pelo fabricante (Eppley Lab Inc.), sendo que não é aplicada a correção indicada por Fairall et alii (1998), que leva em consideração o aquecimento do aparelho pela incidência de radiação solar, tendo em vista que não estavam conectados os termístores que forneceriam os valores de temperatura da termopilha e da cúpula do aparelho. Todavia, a correção deve ser consideravelmente minimizada, em experimentos como este, considerando-se o resfriamento induzido à cúpula e ao corpo do aparelho devido ao deslocamento do veículo e ao conseqüente fluxo de ar sobre ele.

A localização do percurso seguido foi orientada pela ocupação do solo e facilidade de deslocamento com o veículo, dentro da área da CUASO, e foi escolhido o entorno da quadra em que está localizada a FFLCH (Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas), sendo que no caso especificamente analisado toma-se o trajeto nordeste do percurso, com extensão de 1,2 km e aclive suave, de baixa inclinação. Este trajeto escolhido está caracterizado na Figura 1, tanto em relação à ocupação do solo (Figura 1a), como em relação ao balanço da radiação recebida pela superfície (Figuras 1b e 1c).

O balanço da radiação recebida pela superfície (Q = K + L), proveniente da atmosfera e de elementos que compõem a ocupação do solo (edificações e vegetação) é composto por

uma parcela de radiação de onda curta (K) e outra de onda longa (L) e está ilustrado nas Figuras 1b e 1c. Parte da radiação solar que incide na atmosfera (Ki) é absorvida (Ka), sendo que o restante pode ser transmitido na mesma direção (Kt) ou então espalhado (Ke) em outras direções. A radiação de onda longa (L) que atinge a superfície, é composta por uma parcela emitida pela atmosfera (La), uma segunda parcela emitida pelas edificações (Le) e uma terceira emitida pela vegetação e copa das árvores (Lv).

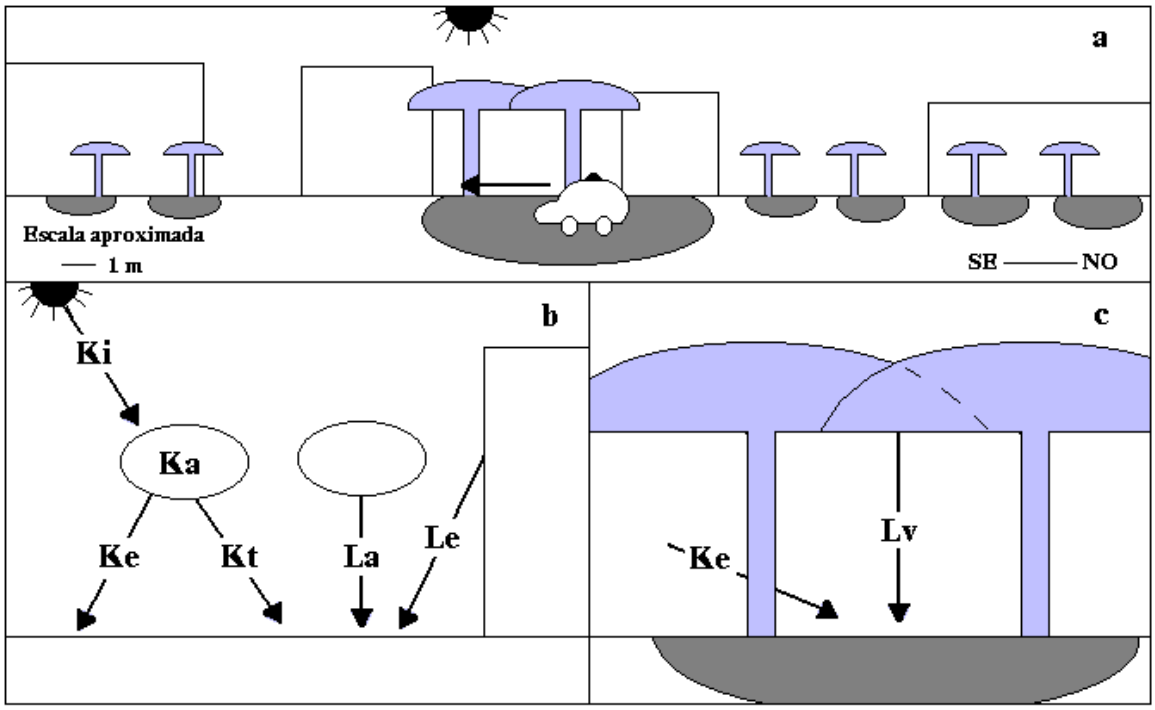

Figura 1. Caracterização ocupacional do solo para a face sudoeste (a) do trajeto percorrido e do balanço radiativo incidente na superfície, para a face sudeste, em um trecho não vegetado (b) e em um trecho arborizado (c).

RESULTADOS

O propósito dos experimentos realizados no perímetro da quadra, em que se situa a Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas (FFLCH) da Universidade de São Paulo (USP), no Campus da Cidade Universitária Armando Salles de Oliveira (CUASO), localizada no bairro do Butantã da cidade de São Paulo, é identificar padrões de emissão associados a elementos previamente conhecidos que compõem a ocupação do solo neste perímetro. Elementos, tais como, tipo de vegetação, cobertura do solo e intensidade do tráfego de veículos, que podem atuar interferindo na emissão atmosférica de onda longa, resultante, que atinge a superfície. Verificam-se, em uma primeira análise, valores mínimos de emissão térmica da atmosfera, em torno de 320 W m^{-2}, e picos máximos superiores a 380 W m^{-2}.

Analisando-se a borda nordeste deste perímetro (Figura 2), verifica-se, que para este trajeto ocorrem valores de fluxo de onda longa, inferiores a 330 W m^{-2}, na parte final do trajeto que é realizado no sentido noroeste – sudeste. Enquanto, que valores máximos, superiores a 400 W m^{-2}, podem ser notados na área central do trajeto. Este trajeto, que apresenta um percurso total de 1,2 km, apresenta o maior setor retilíneo do perímetro, o que elimina considerações sobre a incidência da radiação solar e distribuição de obstáculos (prédios e vegetação) sob diferentes condições de aquecimento radiativo.

A caracterização da distribuição espacial do fluxo de onda longa no trajeto fica bem definida na Figura 3, onde é realizada uma média móvel, sempre sobre um conjunto de dez valores observados. Com isto, são eliminadas as flutuações de maior freqüência e obtém-se uma

visão mais simplificada do panorama da emissão atmosférica através deste trajeto escolhido. Ou seja, em termos médios, a emissão atmosférica observada apresenta valores mínimos entre 340 e 330 W m^{-2}, na partes inicial e final do trajeto, respectivamente. Enquanto que na parte central nota-se um máximo em torno de 390 W m^{-2}.

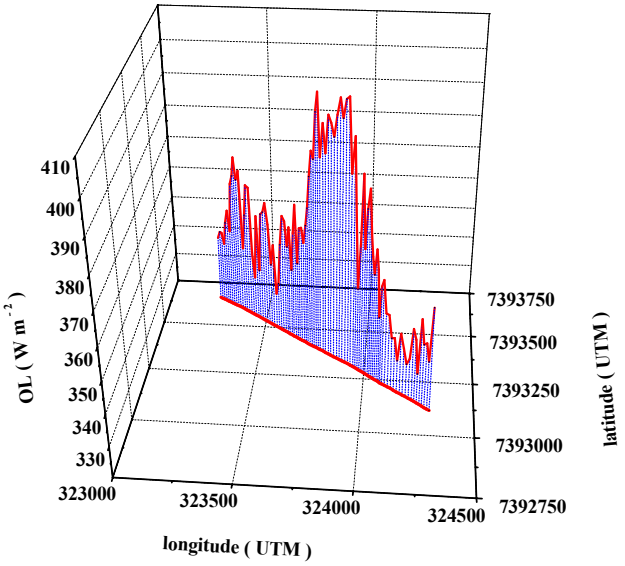

Figura 2. Distribuição espacial da radiação atmosférica através do trajeto definido pela borda nordeste do perímetro da quadra em que está localizada a FFLCH / USP, na CUASO.

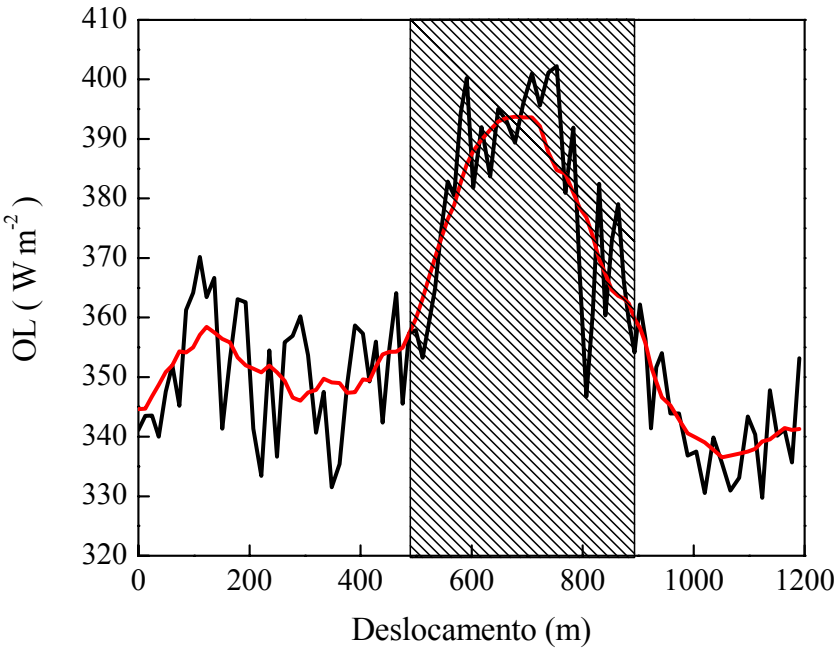

Figura 3. Idem à Figura 2, tomando-se apenas a projeção plana do trajeto observado, com a linha contínua suavizada correspondendo à média móvel tomada a cada dez valores amostrados. A área retangular central, hachureada, representa o setor do trajeto com maior obstrução do céu, devido à presença de árvores com cerca de 4 m de altura ou mais e copas largas.

Há portanto uma amplitude de cerca de 60 Wm-2 nas observações realizadas. O fluxo mínimo corresponderia a um panorama padrão observado, onde há presença de prédios baixos (2 ou 3 andares) e árvores menores (1 a 2 m) obstruindo parcialmente a visão do céu no trajeto analisado (Figura 1a). Todavia, a questão é compreender o padrão máximo destoante observado entre os marcos de 500 a 900 m do percurso (Figura 3).

Analisando-se as características de obstrução da visão do céu para este segmento central do trajeto, verifica-se uma elevação da obstrução devida à presença de árvores maiores (de 3 a 4m de altura, ou mais), com copas mais amplas e não podadas. De tal forma, que as copas destas árvores seriam o agente adicional, presente no campo de visão do sensor, que estariam emitindo uma quantidade suplementar de radiação térmica para a superfície.

Assim sendo, observa-se que a parte inferior da copa destas árvores, sob aquecimento da radiação solar, proveniente da sua face superior, contribui com uma emissão adicional do fluxo de radiação térmica, da ordem de 60 Wm-2 (cerca de 18 %, aproximadamente, dos valores observados com um fator de visão do céu maior) no sentido para a superfície.

Considerando-se que no período do equinócio a incidência de radiação solar no topo da atmosfera, para o horário próximo ao das observações, é da ordem de 1000 W m-2 , e que para dias de céu claro, na região da área estudada, a incidência na superfície da radiação solar global (Kt + Ke) e difusa (Ke) corresponde a cerca de 65,4 e 13,7%, respectivamente, do total da energia solar que atinge o topo da atmosfera (OLIVEIRA et al., 2002), obtém-se na superfície, dum fluxo recebido de radiação solar global e difusa, de cerca de 654 e 137 Wm-2 , respectivamente.

Portanto, realizando o balanço da radiação total (K + L) recebida pela superfície, obtém-se:

para o setor não arborizado: $(Kt + Ke) + (La + Le) \approx 980$ Wm-2 ,

para setor arborizado: $0{,}5\ Ke + Lv \approx 460$ W m-2 .

Note-se, que a componente difusa (Ke) para o setor arborizado é multiplicado pelo fator 0,5, que corresponde ao fator de visão do céu, tendo-se em vista uma cobertura arbórea com altura aproximada ao raio da copa, considerando-se esta aproximadamente circular e suficientemente densa para que bloqueie totalmente qualquer fluxo de radiação de onda curta transmitida da direção do disco solar. Assim, pode-se estimar que a quantidade de energia recebida pela superfície, a partir de sua face superior (não se considerando aqui o fluxo de calor do solo), para um dia de céu praticamente claro, sob uma área arborizada corresponde cerca de metade (50 %) da radiação recebida pela superfície, em uma área não arborizada.

Deve-se ainda observar que para dias de céu claro a radiação difusa (Ke) possui caráter anisotrópico, com direção de propagação preferencial àquela do disco solar, ou seja, uma parcela maior desta quantidade seria obstruída pelas copas das árvores que obscurecem o disco solar. Desta forma poderia ser esperado um valor inferior de radiação difusa (Ke) atingindo a superfície, sob a copa das árvores, o que resultaria em um valor total de energia recebida também inferior, fazendo com que a proporção de 50 % fosse reduzida em algumas unidades.

CONCLUSÕES

Os resultados apresentados confirmam as evidências observadas por Machado e Azevedo(2004) de que há realmente variações nos valores da emissão térmica, entre as diversas áreas, com distintos modelos de ocupação do solo, para um certo trajeto percorrido.

A correção de Fairall (1998) não pôde ser aplicada sobre os dados coletados. No entanto, considera-se que o escoamento de ar gerado sobre o sensor, devido ao deslocamento do

veículo, seja suficiente para resultar em um equilíbrio térmico apropriado entre a cúpula que protege o sensor e o corpo do aparelho.

A variabilidade da ocupação do solo, para o trajeto percorrido no interior da CUASO, é caracterizada por diferenciação do tipo da vegetação (árvores menores com copas pequenas e árvores maiores com copas muito mais largas). Esta variabilidade, no tipo de vegetação presente, acarreta uma elevação do fluxo de onda longa observado, emitida no sentido para a face superior da superfície, de aproximadamente 60 W m^{-2}.

Ou seja, quantidades adicionais de emissão térmica podem atingir a superfície e retardar seu resfriamento (OKE, 1981), devido não apenas a edificações que obstruem o céu em um ambiente tipicamente urbano, mas também devido à emissão da face inferior de copas de árvores ou outros tipos de vegetação, que podem ser característicos de ambientes parcialmente ou não urbanizados.

Finalmente, nota-se que áreas arborizadas, em dias de céu claro, tem a capacidade de poder reduzir pela metade a energia radiativa que atinge a face da superfície sob suas copas, durante o período diurno, próximo ao meio-dia, em comparação a áreas que não são arborizadas.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Amauri Pereira de Oliveira, do Dept° de Ciências Atmosféricas, do IAG - USP, pelo empréstimo do pirgeômetro e do *datalogger*, viabilizando o trabalho de campo.

REFERÊNCIAS

AB´SABER, A. N. Domínios morfoclimáticos e províncias fitogeográficas do Brasil. **Orientação São Paulo**, 3, 45 – 48, 1967.

AZEVEDO, T. R. e J. R. TARIFA. Estudo comparativo do desempenho de minirregistradores digitais de temperatura e umidade do ar em abrigo meteorológico padrão e no miniabrigo meteorológico aspirado. **GEOUSP – Espaço e Tempo**, 11, 129 – 142, 2002.

BOCZKO, R. **Conceitos de astronomia**. Editora Edgard Blücher ltda., São Paulo, 1984, 429 p.

FAIRALL, C. W., PERSSON, P. O. G., BRADLEY, E. F., PAYNE, R. E. e S. P. ANDERSON. A new look at calibration and use of Eppley precision infrared radiometers. Part I: theory and application. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, 15, 1229 – 1242, 1998.

FAIRBRIDGE, R. W**. Encyclopedia of geomorphology: encyclopedia of earth sciences**. New York: Reinhold. 1968.

GRIMMOND, C. S. B. e T. R. OKE. Comparison of Heat Fluxes from Summertime Observations in the Suburbs of Four North American Cities. **Journal of Applied Meteorology**, 34, 873 – 889, 1995.

HU, Z., S. ISLAM e L. JIANG. Approaches for aggregating heterogeneous surface parameters and fluxes for mesoescale and climate models. **Boundary-Layer Meteorology**, 93, 313 – 336, 1999.

KRETZSCHMAR, J. G. Particulate matter levels and trends in Mexico city, São Paulo, Buenos Aires and Rio de Janeiro. **Atmospheric Environment**, 28, nº 19, 3181 – 3191, 1994.

MACHADO, A. J. e T. R. AZEVEDO. Observações não-convencionais da radiação atmosférica na CUASO e imediações**. Anais do II Seminário de Pesquisa em Geografia Física**, Deptº de Geografia da FFLCH / USP, São Paulo, 11 e 12 de dezembro, 2004, 657 – 662 (CDROM).

NIR, D. **Man, a geomorphological agent: an introduction to anthropic geomorphology**. Jerusalem: Keter Publishing House. 1983.

OKE, T. R**.. Boundary Layer Climates**. Methuen & Co Ltd, London, 1978, 372 p.

_____. Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. **Journal of Climatology**, 1, 237 – 254, 1981.

OLIVEIRA, A. P., A. J. MACHADO, J. F. ESCOBEDO e J. SOARES. Diurnal evolution of solar radiation at the surface in the city of São Paulo: seasonal variation and modelling. **Theoretical and Applied Climatology**, 71, 231-249, 2002.

SAKAMOTO, L. L. S. Os Microclimas e a "Configuração do Céu" na Área Central. **Os Climas na Cidade de São Paulo, Teoria e Prática**. GEOUSP 4, 2001, 165 - 187.

TARIFA, J. R. e G. ARMANI. Os Climas Urbanos. **Os Climas na Cidade de São Paulo, Teoria e Prática**. GEOUSP 4, 2001, 47 - 70.

VOOGT, J. A. e C. S. B. GRIMMOND. Modeling Surface Sensible Heat Flux Using Surface Radiative Temperatures in a Simple Urban Area. **Journal of Applied Meteorology**, 39, 1679 – 1699, 2000.

_____ e T. R. OKE. Complete Urban Surface Temperatures. **Journal of Applied Meteorology**, 36, 1117 – 1132, 1997.